

NGU-rapport 85.140

KNUST TILSLAG I BETONG
TILSLAGSPARAMETRE/BETONGEGENSKAPER
ET LITTERATURSTUDIUM



Norges geologiske undersøkelse

Leiv Eirikssons vei 39, Postboks 3006, 7001 Trondheim - Tlf. (07) 92 16 11
Oslokontor, Drammensveien 230, Oslo 2 - Tlf. (02) 55 31 65

Rapport nr. 85.140	ISSN 0800-3416	Åpen for alle	
Tittel: Knust tilslag i betong. Tilslagsparametre - betongegenskaper. Et litteraturstudium.			
Forfatter: John Anders Stokke		Oppdragsgiver: Styringsgruppen for forskning om betongtilslag	
Fylke:		Kommune:	
Kartbladnavn (M. 1:250 000)		Kartbladnr. og -navn (M. 1:50 000)	
Forekomstens navn og koordinater:		Sidetall: 17	Pris: 38,00
		Kartbilag:	
Feltarbeid utført:	Rapportdato: 25.06.1985	Prosjektnr.: 5321.00	Prosjektleder: S. W. Danielsen
Sammendrag: NGU har i samarbeid med Styringsgruppen for forskning om betongtilslag utført et litteraturstudium om knust tilslag i betong. Den ferske betongs vannbehov og bearbeidbarhet anses av de fleste forskere å bli påvirket av tilslagets kornform og korngradering. Betongens egenskaper endres når knust tilslag anvendes i stedet for natursand. Sandens korngradering skal ikke være for grov. Omlag 20% finmateriale i fraksjonen <math> < 150 \mu\text{m}</math> anses fordelaktig. Vannbehovet vil øke med omlag 40-50 l/m ³ . Trykkfastheten ved et gitt v/c forhold vil være 10-20% høyere enn for betong med natursand.			
Emneord	Ingeniørgeologi	Knust tilslag i betong	
	Litteraturstudium		

INNHold

FORORD.....	1
1. VANNBEHOV -BEARBEIDBARHET.....	2
1.1 Kornformens innflytelse	2
1.2 Korngraderingens innflytelse	3
2. FORANDRINGER I BETONGENS EGENSKAPER NÅR KNUST TILSLAG ANVENDES.....	9
2.1 Korngraderingen	9
2.2 Vannbehovet	9
2.3 Holdfasthet	11
2.4 Bestandighet	12
2.5 Cementbehovet	13
3. KONKLUSJON.....	15
LITTERATUR.....	17

FORORD

Tilslag med knust sand blir stadig en viktigere ressurs etter som det i enkelte områder blir knapphet på natursand. Denne rapporten prøver å belyse hvilke tilslagsparametre som påvirker betonegenskapene når knust tilslag anvendes. Det er i denne sammenhengen særlig viktig å belyse de forandringer i betonegenskapene som skjer når knust tilslag benyttes.

Denne rapporten er en delrapport i et større forskningsprosjekt på tilslag til betong. Rapporten er formet som en kortfattet konklusjonsrapport. Terminologi og definisjoner blir tatt med i en endelig sluttrapport for prosjektet. Det er styringskomiteen for prosjektet som har ansvaret for framdrift og endelig rapporttering.

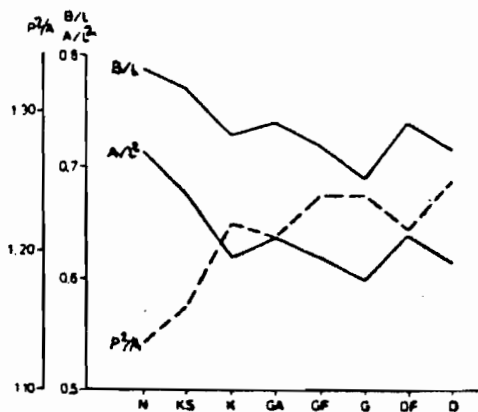
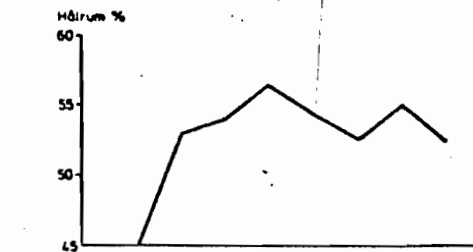
1. VANNBEHOV - BEARBEIDBARHET

1.1 Kornformens innflytelse

JOHANSON (1982) foretok målinger med automatisk billedanalysator for kornformkarakterisering (Piccap utrustning). Dette bekrefter kornformsforskjellen mellom knust tilslag og natursand. Et eksempel på dette er vist på figur 1 der forskjellige kornformparametre iht Piccap målingene er gjengitt for naturmateriale og knust tilslag i fraksjonen 2-4 mm. Det viser seg at vannbehovet var noe høyere for de fleste knuste materialer enn for natursand. Det fremgår videre av figur 2 at kvartsittsandstein og kvartsitt har tilnærmet samme vannbehov som natursanden og lavere enn det kornformsparameterene bestemt ved Piccap målingene tilsier. Johanson konkluderer med at det ikke er påvist noen entydig sammenheng mellom kornform og vannbehov. Resultatene antyder derfor at det er tilslagetets mineralogi og overflateegenskaper som påvirker vannbehovet.

Johanson konkluderer med at det fra et normalt godt bergartsmateriale kan produseres knust tilslag som tilfredstiller de strengeste krav til bearbeidbarhet. Det forutsettes da at det tas spesielt hensyn til proporsjoneringen.

a) fraksjon 0,25-0,5 mm ■ fraksjon 0,25 to 0,5 mm

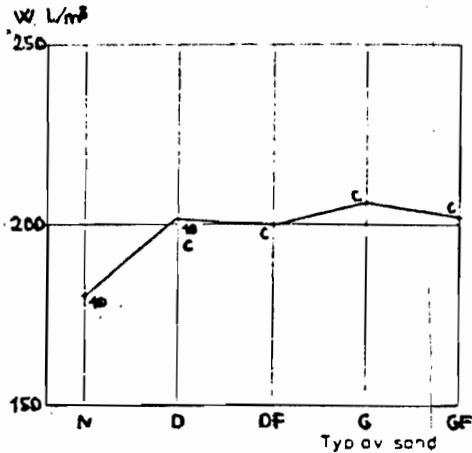


b) fraksjon 2-4 mm ■ fraksjon 2 to 4 mm

Figur 7. Kornformsparametrear enligt Piccap-förfarandet och hålrum (vid lös utfyllnad).

- N = naturmaterial
- KS = kvartsittsandsten; krossad i flera steg
- K = kvartsitt, krossad i flera steg
- GA = gabbro, krossad i flera steg
- GF = gnejs, endast förkrossad
- G = gnejs, krossad i flera steg
- DF = diabas, endast förkrossad
- D = diabas, krossad i flera steg
- L = längd, B = bredd, A = area, P = perimeter.

FIG 1



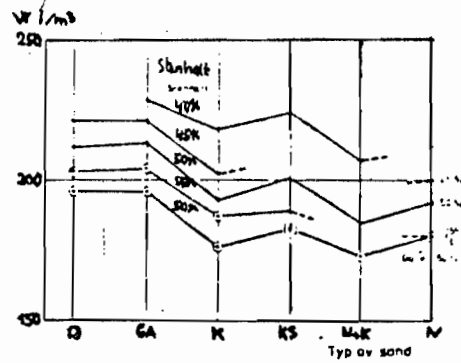
Figur 8. Vattenbehov för betongblandningar med samma sammansättning med olika ballastmaterial.

Sandgradering nr 10 enl FIG 3.

C: stenmaterial (4-32 mm) samma som sandtypen

10: stenmaterial diabas krossad i flera steg.

Sandtyp: beteckningar enl FIG 7.



Figur 9. Vattenbehov för betongblandningar med olika sandtyper. Sandgradering nr 10 enl FIG 3. Stentyp och -gradering lika för samtliga blandningar.

Sandtyp: beteckningar enligt FIG 7.

⊗ = ej godtagbar arbetbarhet

N = naturmaterial

KS = kvartsitsandsten, krossad i flera steg

K = kvartsit, krossad i flera steg

GA = gabbro, krossad i flera steg

GF = gnejs, endast förkrossad

G = gnejs, krossad i flera steg

DF = diabas, endast förkrossad

D = diabas, krossad i flera steg

FIG 2

AIKIN(1976) anser at kornformen innvirker både på bearbeidbarhet, og vannbehov. Det refereres til den amerikanske metoden for hullromsmåling "void contents". Det fastslås at denne målemetoden er både enkel og hurtig for å måle kornform. Hullromsprosenten skal iht. til denne metoden ikke være høyere enn 55%.

HOTVEDT(1980) anser at det er kornformen i de minste fraksjoner under 4mm som har størst innvirkning på vannbehovet. For riktig proporsjonering er det i dette fraksjonsområdet nødvendig med våtfraksjonering. Hotvedt referer hele tiden til erfaringer fra bruk av knust tilslag i forbindelse med kraftverksutbygning i Norge.

MALMBERG(1979) referer til flere undersøkelser som viser at kornformen har innflytelse på betongens vannbehov. På figur 3 (Bloem Gaynor) er sammenhengen mellom hullromsprosenten og vannbehovet vist. Det forholdsvis lave vanninnholdet i forhold til vanlig forekommende resultat skyldes iht Malmberg ulik praksis når det gjelder vætning av tilslaget. På figur 4 (Kaplan 1958) er sammenhengen mellom kantighetstallet og bearbeidbarheten målt med "Compacting factor" vist.

1.2 Korngraderingens innflytelse

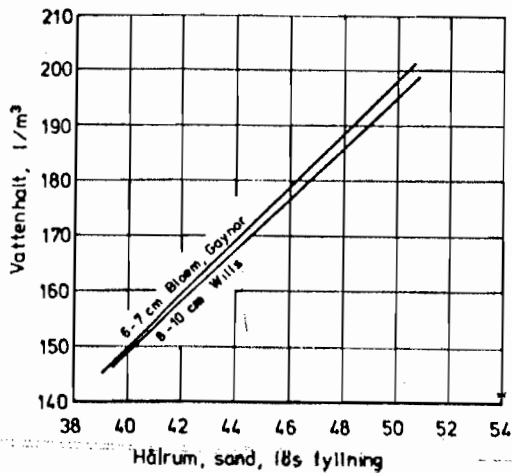


FIG 14. Inverkan av sandens hålrømsvolym på betongblandningens vattenbehov.

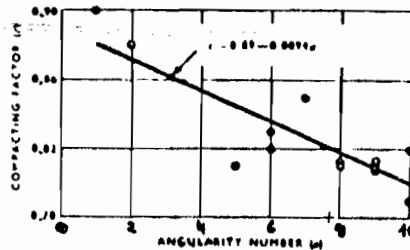
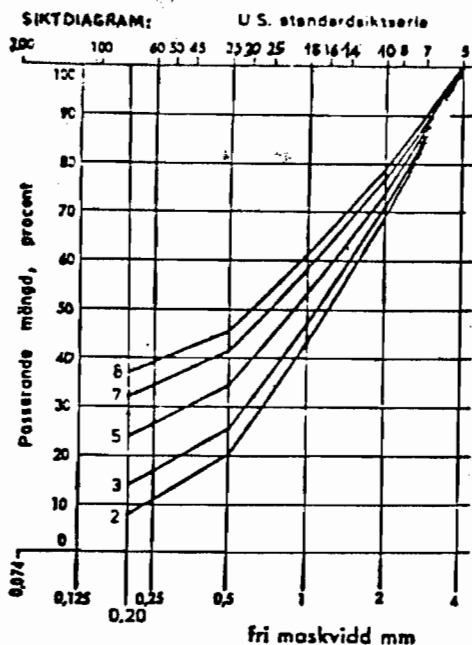


FIG 12. Relation mellan kantighetstal och bearbetbarhet mätt med compacting factor enl Kaplan /1958/.

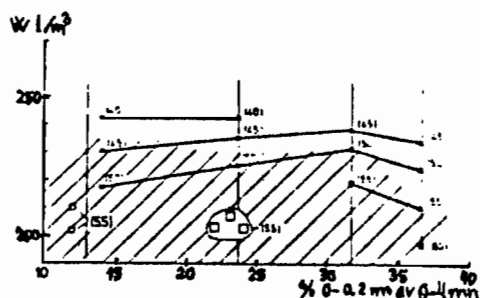
FIG 3 OG 4

JOHANSON L. (1982) viser i en undersøkelse at vannbehovet i knust tilslag generelt er lite påvirket av øket materialinnhold i fraksjonen mindre enn 0.15mm (fig 5).

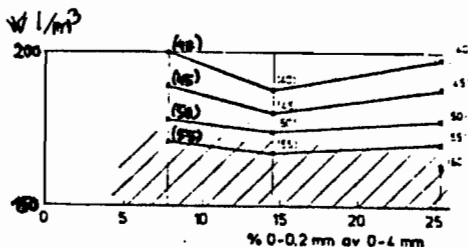
Bearbeidbarheten blir drastisk forverret for knust sand når steinnholdet økes utover det optimale. Det optimale steinnhold er her definert som det høyest mulige steinnhold som gir godtagbar bearbeidbarhet. I natursand er derimot bearbeidbarheten langt mindre følsom for variasjoner i steinnholdet.



Figur 1. Provede sandgraderinger ved variation av finmaterialhalten (andel sand <0,20 mm). ■ Particle size distribution of fine aggregate tested at a variable fines content (percentage of fine aggregate less than 0,20 mm).



Figur 2. Finmaterialhaltens inverkan på vattenbehovet for a) betong med krossand ■ concrete made with crushed fine aggregate.



b) betong med natursand ■ concrete made with natural fine aggregate.

Siffror inom parentes anger stenhalt (fraktion 4-32 mm)

□ = Inledende försök, "lämplig" sandgradering

○ = Inledende försök, för grov sandgradering

//// = Område för blandningar med ej godtagbar arbetbarhet

FIG 5

Ved det optimale steinnholdet viste det seg at vanninnholdet var omtrentlig det samme i alle blandinger.

Resultater viser at forskjellen mellom natur og maskinsand er størst for de groveste sandtypene. I figur 7 angir den stiplede og den heltrukne streken godtagbar (på høyre side) og ikke godtagbar (på venstre side) bearbeidbarhet for hhv. betong med natursand og maskinsand.

MALMBERG(1979) referer forskjellige undersøkelser der det er det totale finmaterialinnholdet som er avgjørende for vannbehov og bearbeidbarhet(Ysberg 1978). Dette går fram av fig. 6.

MalMBERG viser også til flere forfattere som har funnet at det ved et høyere cementinnhold kreves grovere sandgradering for å oppnå maksimal bearbeidbarhet.

MalMBERG viser også til resultater som tyder på at spranggradert tilslag er fordelaktig for betongsammensetninger med lav bearbeidbarhet og som derfor må komprimeres(Li 1973).

Finmaterialinnholdet(partikler mindre enn 0,15mm) har i henhold til flere litteraturkilder en positiv effekt i betong med knust tilslag. Det tyder på at disse partiklene virker som "smøremiddel" i betongen og at de ikke krever vætning tilsvarende de grovere fraksjoner. I britisk standard (BS 882:part 2:1973) er det foreslått å høyne det tillatte finmaterialinnholdet ved

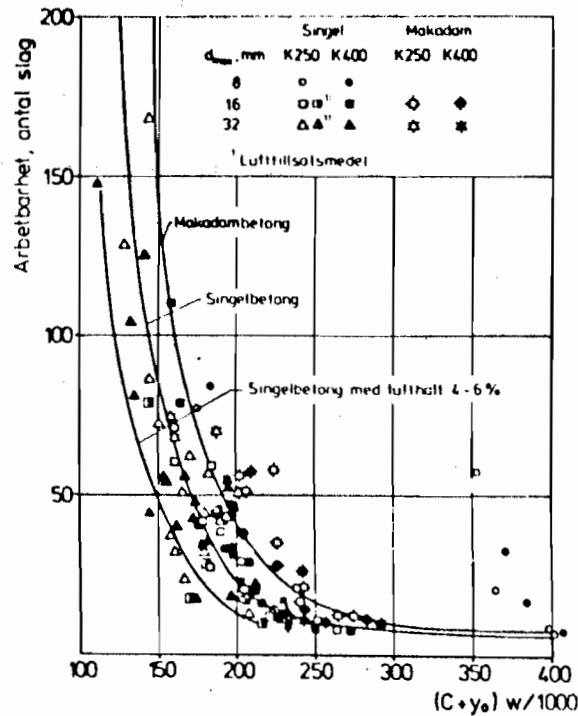


FIG 25. Samband (cementhalt + finmaterialhalt) x vattenhalt och arbetbarhet enl Ysberg /1978/

FIG 6

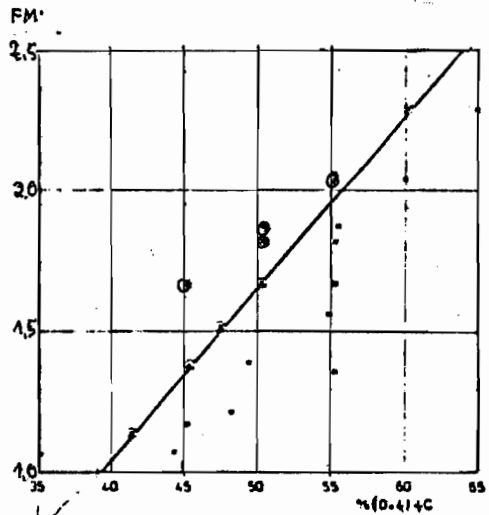
0,15mm fra 10 til 20%.

AIKIN(1976) anser at et høyt finmaterialinnhold kan øke vannbehovet i betong med knust tilslag. Dette hevder han delvis motvirkes av den reduserte sandmengden i tilslaget.

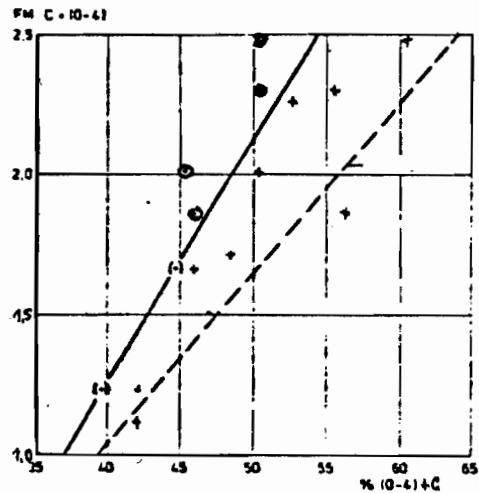
Aikin anser videre at et økt finmaterialinnhold i betong med knust tilslag har liten eller ingen innflytelse på trykkstyrken og bestandigheten. Det blir vist til forsøk der gjennomgangsprosenten på sikt nr. 100 (150 mikron) og nr. 200 (75 mikron) varierte i intervallene 6-165 og 1-11% uten at trykkfastheten ble særlig påvirket.

Aikin viser imidlertid til undersøkelser der en økning i finmaterialinnholdet vil redusere luftinnholdet i betongen. Det er derfor behov for mer luftinjiserende tilsatsmidler i betong med knust tilslag enn betong med naturlig tilslag om luftinnholdet skal opprettholdes.

I de nye amerikanske betongnormalene ASTM C33 i figur 8, tabell 2, er tilatt finmaterialinnhold på siktene 100 og 200 økt betraktelig som følge av de refererte undersøkelser. Det kan iht standarden også tillates høyere finmaterialinnhold såfremt det kan produseres betong med relevante egenskaper.



a) betong med krossand ■ concrete made with crushed fine aggregate.



b) betong med natursand ■ concrete made with natural fine aggregate

Figur 6. Samband mellan finhetsmodul och volymandel för mängden fasta partiklar < 4 mm (sand + cement).

⊗ ⊗ = ej godtagbar arbetbarhet

+ × = godtagbar arbetbarhet

■ Relation between the fineness modulus and the percentage by volume of solid particles less than 4 mm (fine aggregate + cement).

⊗ ⊗ = Not acceptable workability

+ × = Acceptable workability

FIG 7

TEYCHENNE (1978) har foretatt omfattende undersøkelser på knust tilslag fra de viktigste pukkverkene i Storbritania. Tilslaget ble brukt slik det typisk forelå fra de ulike verk. Denne forskningsmetodikkenn aviker derfor noe fra de fleste andre undersøkelser der en ofte forsøker å isolere en enkelt faktors innflytelse ved å variere denne og holde de øvrige konstant.

Sieve Size	Percent Passing
3/8-in. (9.5 mm)	100
No. 4 (4.75 mm)	95 to 100
No. 8 (2.36 mm)	80 to 100
No. 16 (1.18 mm)	50 to 85
No. 30 (600 μm)	25 to 60
No. 50 (300 μm)	10 to 30
No. 100 (150 μm)	2 to 10

NOTE: Fine aggregate shall not have more than 45 percent retained between any two consecutive sieves. Fineness modulus shall be not less than 2.3 nor more than 3.1.

Grading Limits for Fine Aggregate From ASTM C 33 "Standard Specification for Concrete Aggregates"

Sieve Size	Percent Passing
3/8-in. (9.5 mm)	100
No. 4 (4.75mm)	95-100
No. 8 (2.36 mm)	80-100
No. 16 (1.18 mm)	50-85
No. 30 (600 μm)	25-60
No. 50 (300 μm)	10-30
No. 100 (150 μm)	2-15
No. 200 (75 μm)	0-7*

* According to ASTM C 33 guidelines. For concrete subject to abrasion, reduce to 5 percent maximum.

NCSA Recommended Stone Sand Fine Aggregate Grading for General Use in Portland Cement Concrete.

FIG 8

Undersøkelsene viste at en økning i finmaterialinnholdet fra 10-25% ikke har noen entydig og klar innvirkning på vannbehovet i betong med knust tilslag. Dette går fram av fig. 9.

Det ble i gjennomsnitt heller ikke påvist noen forandringer i trykkstyrken når finmaterialinnholdet varierte, Dette er også vist på fig 9.

HAERIG (1983) har utført undersøkelser med knust tilslag og natursand som viser at kornsammensetningen for knust tilslag kan optimaliseres. Kornsammensetningen ble betraktet som optimal når flytetiden bestemt ved "Fliesszeit" lå så nært som mulig opptil den eksperimentelt bestemte flytekurven for natursanden. Under forsøkene ble vann/cementforholdet holdt konstant ved at blandingens vann og cementmengde ble øket i innbyrdes likt forhold.

FIG. 4 Effect of grading changes on water requirements and crushing strength

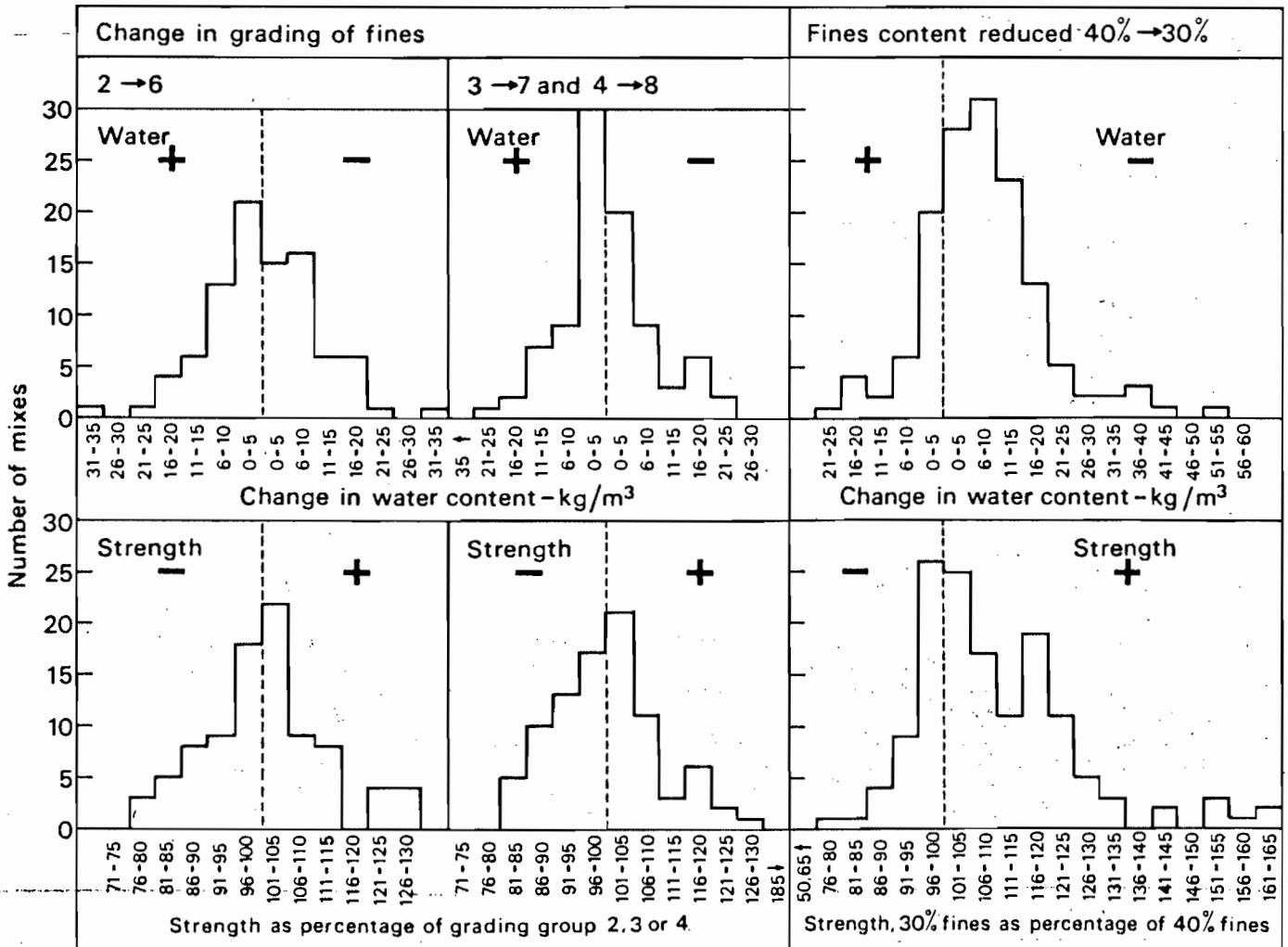


FIG 9

Som tilslag ble brukt natursand i fraksjonen 0-32mm og et sammensatt tilslag natursand/knust materiale i fraksjonene 0-2mm/2-22mm.

Haerig konkluderer med at det lar seg gjøre å lage betong med samme bearbeidbarhet som natursand når den optimale gradering er eksperimentelt bestemt. En sammenstilling av resultatene er vist på fig 10.

2. FORANDRINGER I BETONGENS EGENSKAPER NÅR KNUST TILSLAG ANVENDES.

2.1 Korngraderingen

MALMBERG(1979)viser til flere arbeider(Fagerlund og Nilsen) der det er påvist at en bør velge graderingen noe mer finkornig for knust tilslag enn hva tilfellet er for natursand. Britisk standard (BS) sone 3 med finhetsmodul 1.6-2.6 blir foreslått som et passende graderingsintervall. Vannbehovet vil i gjennomsnitt etter flere litteratureferanser øke med 10-15 l/m³ som følge av endret korngradering.

Finmaterialinnholdet (materiale mindre enn 0.15mm) bør iht. til ulike litteraturreferanser hos Malmborg holdes på omlag 20%.

Spranggradering i fraksjonen 2-4mm kan være fordelaktig ved høyt cementinnhold. Det er vist til enkelte arbeider der dette vil forbedre bearbeidbarheten og minske vannbehovet(Li 1973).

JOHANSON (1982)har på grunnlag av egne undersøkelser funnet at maskinsand ikke skal være for grov, helst med finhetsmodul mindre enn 3.0. Dette er forøvrig andre grensekurve for betongsand i Sverige.

COLBJØRNSEN(1972) konkluderer etter omfattende undersøkelser at knust sand skal ha større mengder med finmateriale enn natursand. Det ble også funnet at blandingsforholdet sand/stein bør være noe større for knust sand enn for natursand.

2.2 Vannbehovet

MALMBERG(1979) har i ulike literaturkilder funnet at vannbehovet i gjennomsnitt øker med 40-50 l/m³ når maskinsand anvendes i stedet for natursand. Det er da tatt hensyn til både dårligere kornform og øket innhold av finmateriale. Malmborg fremholder også at det må tas hensyn til den store vannabsorpsjon som maskinsanden har når resultat skal sammenlignes. Malmborg angir at vannabsorpsjonen for de fleste knuste tilslag er i underkant av 1 vekt-%. For visse kalksteinstilslag er det blitt målt opptil 2.5 % (Teychenne 1978).

	Festigkeitsklasse/Konsistenz	B 35/K 2				B 35/K 3						
		Rhk AB	Por opt	Gw opt	Ba opt	Rhk AB	Por AB	Por opt	Gw AB	Gw opt	Ba AB	Ba opt
	Zementgehalt*) kg/m ³	330				372						
	Wassergehalt kg/m ³	155				175						
	w/z-Wert	0,47				0,47						
Beton- zusammen- setzung	Zuschlagvolumen dm ³ /m ³	720				686						
	davon Natursand Vol.-%	—	35	—			27					
	Splitt Vol.-%	—	65	—			73					
Frischbeton eigenschaften	k-Wert der Sieblinie	4,83	4,73	4,83	4,73	4,83	4,83	4,73	4,83	4,73	4,83	4,73
	Ausbreitmaß cm	38	33,5	32	33	43,5	40,5	36	37,5	38,5	43	35,5
	Verdichtungsmaß	1,13	1,23	1,17	1,16	1,06	1,09	1,07	1,06	1,04	1,06	1,07
	Auslaufzeit**) sec	9,6	11,2	11,5	9,9	7,2	12,0	6,2	7,7	4,8	7,9	7,2
	LP-Gehalt Vol.-%	1,5	1,8	1,5	1,8	1,4	1,4	1,5	1,6	1,7	1,5	1,9
Festbeton- eigenschaften	Druckfestigkeit											
	β_{D7} N/mm ²	24,1	26,2	33,9	30,8	26,5	27,1	28,8	29,0	23,3	26,1	29,9
	β_{D28} N/mm ²	40,3	43,2	43,8	48,0	42,4	42,8	47,8	46,0	43,3	45,4	48,2
	β_{D56} N/mm ²	47,2	47,2	51,9	60,7	48,1	51,0	55,2	51,8	43,7	53,3	59,1
	β_{D90} N/mm ²	52,0	49,4	53,6	62,1	49,3	54,5	57,3	54,6	45,4	48,7	61,4
	Biegezugfestigkeit											
	β_{B27} N/mm ²	4,3	4,5	4,7	4,9	4,1	4,2	4,1	4,2	4,8	4,1	4,1
	β_{B28} N/mm ²	6,1	6,3	7,7	7,2	5,6	5,9	6,1	7,3	6,2	6,4	7,1
	Spaltzugfestigkeit											
	β_{S28} N/mm ²	3,2	3,8	3,8	4,2	3,6	3,7	4,1	4,0	3,7	4,1	3,9
	E-Modul N/mm ²	—	—	—	—	30850	—	33650	—	30750	—	41050

* hierbei wurden die Empfehlungen des DAfSt. zugrunde gelegt.

** Auslaufzeit nach Werse.

Betonfestigkeitsklassen: B 25 und B 35
 Konsistenzen: K 2 und K 3
 Zementart und -festigkeitsklasse: HOZ 35 L
 Zementgehalt: ≥ 300 kg/m³
 w/z-Wert: $\leq 0,60$
 Zuschlag: Rheinsand 0/2 mm
 Rheinkies 2/8, 8/16, 16/32 mm
 Porphyritedelsplitt, Grauwackeedelsplitt, Basaltdelsplitt
 2/5, 5/8, 8/11, 11/16, 16/22 mm

Sieblinie: AB 32
 zusätzlich für Splittbeton
 »optimale« Kornzusammensetzung

FIG 10

JOHANSON(1982) finner i sine egne undersøkelser at det ikke er

noen sammenheng mellom vannbehovet og tilslagsegenskaper som hullrom, kornform, sandens vannbehov etc. Bare ved prøveblandinger kan en bestemme den optimale proporsjoneringen. Normalt kan en rekne med 10-20% økning i vannbehovet. Johanson påviste også at det kan være store skillnader i vannbehov mellom forskjellige typer sand. Dette er vist i figur 2.

2.3 Holdfasthet

MALMBERG(1979) har i litteraturen funnet sikre data på at trykkfastheten for betong av knust tilslag er bestemt av vannluftcementtallet. Dette er vist på figur 11 (Fagerlund og Nilsen).

Kornformen innvirker også slik at vannbehovet øker og betongen får et høyere v/c tall.

Malmberg finner også arbeider som viser at en ved et gitt v/c forhold synes fastheten å være relativt uavhengig av kornformen hos de ulike knuste tilslag (Bloem og Gaynor 1963). På figuren er kurven for knust tilslag stiplet.

Figur 11 viser også at en i snitt kan oppnå omlag 10% høyere fasthet ved et gitt v/c tall.

HAERIG(1983) har i egne forsøk funnet, at en under ellers sammenlignbare forhold med konstant v/c og lik konsistens, oppnår en 28-døgnsfasthet for knust tilslag som er opptil 28% høyere enn for naturmateriale. Under forsøkene ble det brukt natursand 0-32mm og som knust tilslag blandingen natursand/knust stein i forholdet 0-2mm/2-22mm. Fastheten etter 7 og 90 døgn var også høyere.

AIKIN(1976) gjør rede for amerikanske undersøkelser der trykkfastheten for betong med knust tilslag er like stor eller større enn for betong med naturlig tilslag.

COLBJØRNSSEN(1972) finner i en omfattende undersøkelse at knust sand gir høyere fastheter enn natursand når en bruker samme v/c forhold. Det var ubetydelige fasthetsforskjeller mellom de ulike

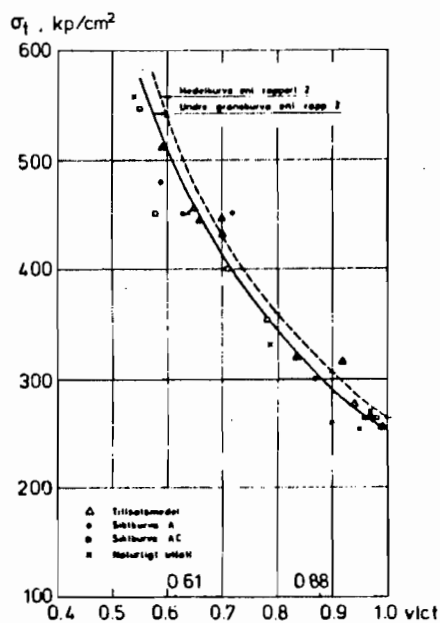


FIG 34. Kubhållfasthet som funktion av vattenluft-cementtal enl Burström et al /1969/. Medelkurva resp undre gränskurva avser resultat enl Fagerlund, Nielsen /1968a/.

FIG 11

tilslagstypene. Figur 12 viser disse forhold.

2.4 Bestandighet

MALMBERG(1979) refererer til undersøkelser som viser at betong med knust tilslag muligens har noe dårligere frostbestandighet enn betong med naturmateriale når en har høye v/c forhold. Betong med kalksteinsmateriale viste seg i noen tilfelle å være noe mer bestandig enn betong med andre knuste tilslag.

COLBJØRNSEN(1972) fant under egne forsøk at frostbestandigheten for betong med knust tilslag ved høye v/c forhold var dårligere enn for betong med natursand. Ved lave v/c forhold ble det derimot ikke påvist signifikante forskjeller. Dette er vist på figur 14.

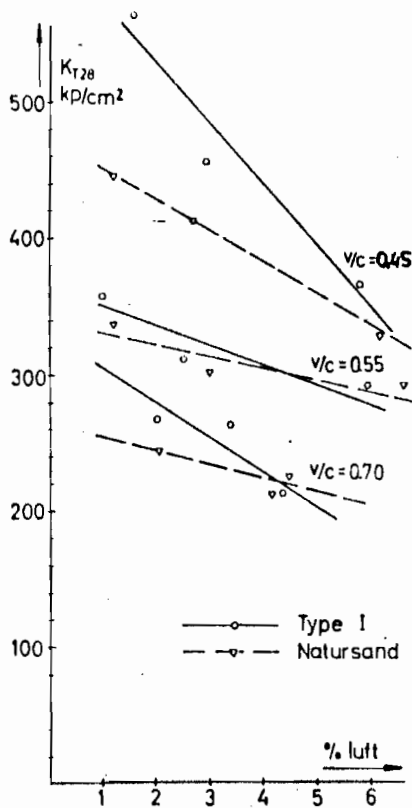


Fig. 5. Trykkfasthet for sandtype I samt natursand

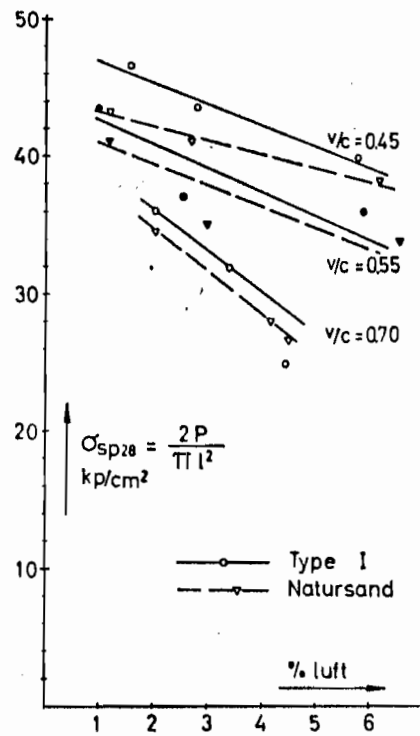


Fig. 6. Spaltestrekkfasthet for sandtype I samt natursand

FIG 12

% økning i cementforbruk sammenliknet med natursand

v/c =	Ikke luftporetisetn.			3% luftporeinnh.			6% luftporeinnh.		
	0,70	0,55	0,45	0,70	0,55	0,45	0,70	0,55	0,45
<i>Sandtype</i>									
Type I ...	3	8	14	7	9	8	8	9	2
Type II ..	5	2	8	5	2	7	3	2	4
Type III..	6	4	11	10	3	7	10	7	8
Type IV..	17	11	19	20	14	14	21	18	14

** Sprøhetstallet viser hvor mye en fraksjon av et materiale blir nedknust ved en viss støtpåkjønning.

Måling av flisighetstall og sprøhetstall er beskrevet i NS 427 A, del 2, Blad 7.4.

FIG 13

2.5 Cementbehovet

COLBJØRNSEN(1972) fant under egne forsøk at knust sand krever mer cementlim enn natursand om konsistensen(målt ved slump) skal opprettholdes. Dette går fram av figur 13. Økningen cementbehovet i forhold til natursand var ganske lik for de fleste tilslagstypene. Et unntak var et basalttilslag med et meget høyt flisighetstall. Dette tilslaget fikk som direkte følge et meget høyt cementbehov.

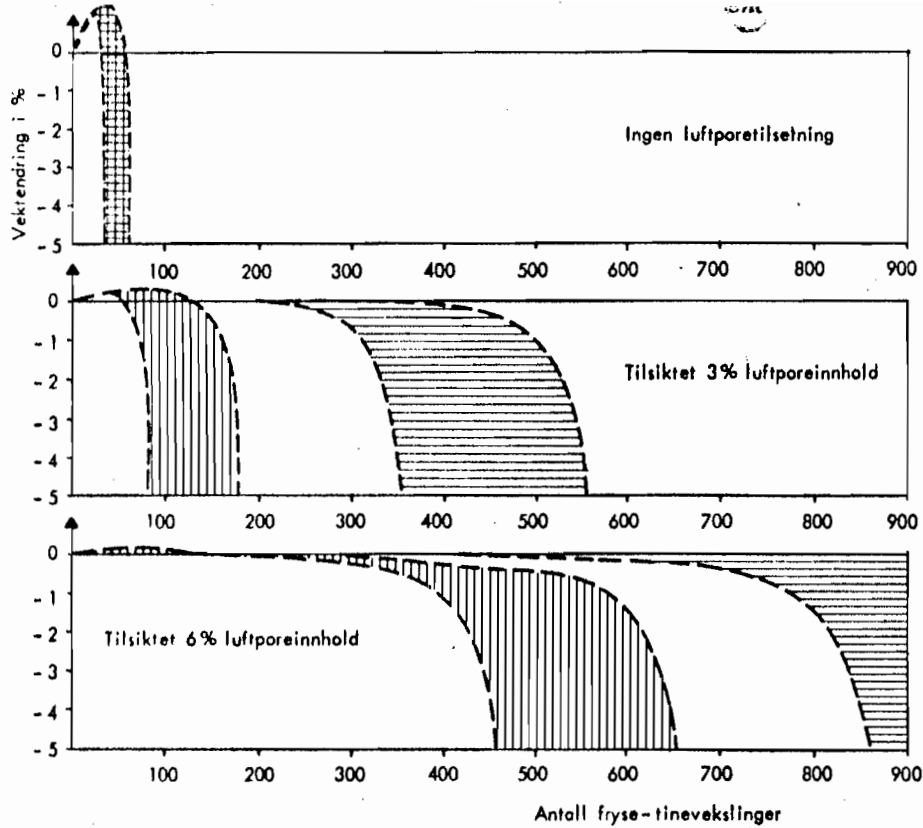


Fig. 7. Vektendring som funksjon av antall fryse-tine vekslinger. Vertikal skravur for knust sand, horisontal skravur for natursand. $v/c = 0,70$. Øverste del viser resultat for ingen luftporetisetning. Midterste del viser resultat for 3% luftporeinnhold, og nederste del viser resultatet for 6% luftporeinnhold

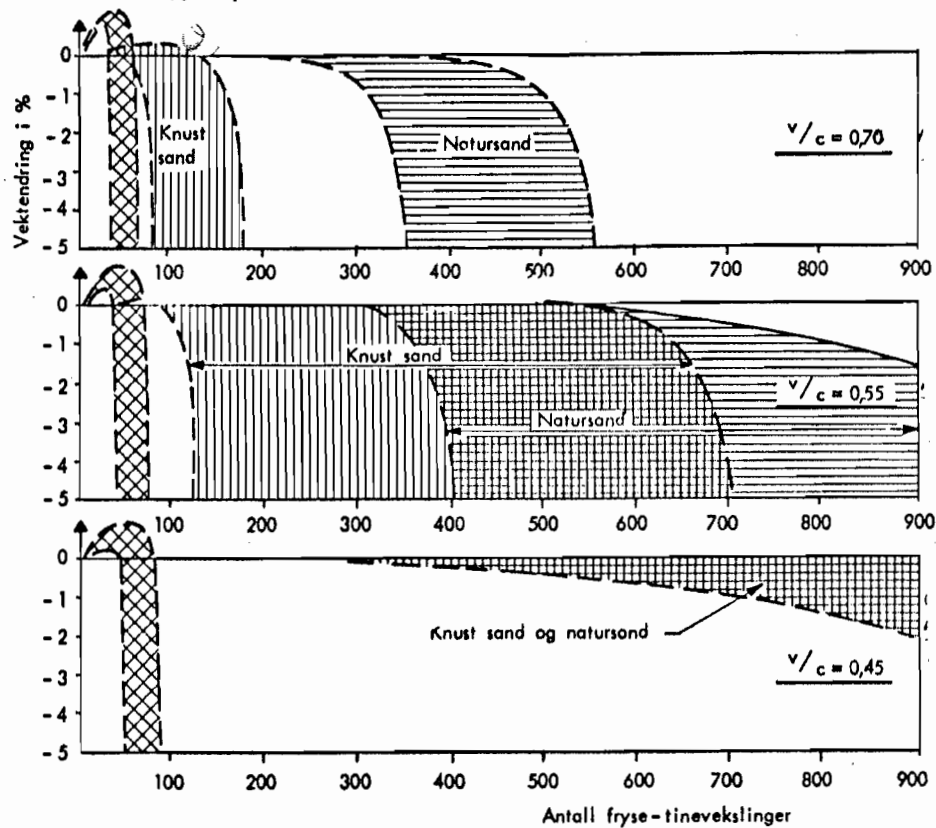


Fig. 8. Vektendring som funksjon av antall fryse-tine vekslinger. Øverste del for $v/c = 0,70$, midterste del for $v/c = 0,55$, og nederste del for $v/c = 0,45$. Skrå-kryss skraverte diagrammer helt til venstre for ingen luftporetisetning. Her får en sammenfallende verdier for knust sand og natursand. Vertikalt og horisontalt skraverte felter viser resultatet for 3% luftporeinnhold

FIG 14

3. KONKLUSJON

Vannbehov og bearbeidbarhet

Kornformens innflytelse

Dety råder endel uenighet om kornformens innflytelse på vannbehovet i betong basert på knust tilslag. Det er imidlertid ulike metoder som er brukt for å karakterisere kornformen. Kornform målt vha. EDB scanning (Johanson) gir ingen direkte sammenheng, mens kornformen målt hullromsmåling (MalMBERG og Aikin) gir en entydig sammenheng. I en referanse (Hotvedt) blir kornformen i sandfraksjonen (materiale mindre enn 4mm) tillagt størst betydning.

Korngraderingens innflytelse.

I de fleste litteraturreferanser (MalMBERG, Johanson og delvis Haerig) anses en økning i finmaterialinnholdet i fraksjonsområdet mindre enn 150 mikron å være fordelaktig. I annen litteratur (Aikin, Teychenne) ansees en økning i finmaterialinnholdet å ha liten eller ingen effekt på vannbehovet og bearbeidbarheten.

Forandringer i betongens egenskaper når knust tilslag anvendes.

Korngraderingen.

Det råder relativt stor enighet i litteraturen om at knust tilslag i betong må ha en sandfraksjon som ikke er for grov. Graderingen skal være mer finkornig enn for natursand og den bør være omlag 20% finmateriale i fraksjonen mindre enn 150 mikron (MalMBERG). Det kan ved lavt v/c forhold være fordelaktig med spranngadering.

Vannbehovet

I henhold til to referanser (MalMBERG og Johansson) vil vannbehovet i betong med knust tilslag øke med omlag 10-20% eller 40-50 l/m³.

Trykkfastheten

Det råder relativt stor enighet i litteraturen om at trykkfastheten for betong med knust tilslag for et gitt v/c forhold vil være fra 10-20% høyere enn for betong med naturlig tilslag.

Bestandighet

Det er to litteraturreferanser (Colbjørnsen og Malmberg) som anser at frostbestandigheten for betong med knust tilslag vil være noe lavere ved høyt v/c forhold, men på omtrentlig samme nivå ved et lavere v/c forhold.

Trondheim 26.6.1985

John Anders Stokke

LITTERATUR

- AIKIN, H. B. (1976): "Stone sand for concrete". Pit and Quarry december 1976.
- COLBJØRNSEN A. (1972): "Knust tilslag som tilslag i betong". Nordisk Betong nr. 1972.
- Seventh Regional Conference for Africa on soil mechanics and foundation engeneering/ Accra 1980.
- HAERIG, S (1983): "Verwendung von betonzuschlag aus gebrochenem naturgestein - auswirkungen auf die festbeton- eigenschaften" Die Naturstein-Industrie 6/83.
- HOTVEDT, O (1980): "Produksjon av knuste steinmaterialer til betongformål." Steinmaterialer NIF kurs.
- JOHANSON, L. (1982): "Betong med krossad ballast". Nordisk betong 6-1982.
- MALMBERG, B. (1979): "Betong med krossgrus som ballast - en litteraturinvertering". Cement og Betonginstituttet Fack 100 44 Stockholm.
- TEYCHENNE, D. CV., (1978): "Crushed rock aggregates in concrete - investigations at the building research establishment.